

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**JOÃO VICTOR REZENDE SAMPAIO**

**PREVISÃO PARA O MERCADO DE ENERGIA EÓLICA BRASILEIRO PARA O  
BIÊNIO DE 2021-2022**

**Juiz de Fora  
2021**

JOÃO VICTOR REZENDE SAMPAIO

**PREVISÃO PARA O MERCADO DE ENERGIA EÓLICA BRASILEIRO PARA O  
BIÊNIO DE 2021-2022**

Monografia apresentada pelo acadêmico João Victor Rezende Sampaio ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Dr. Alexandre Zanini

**Juiz de Fora**

**2021**

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Rezende Sampaio, João Victor.

Previsão Para o Mercado de Energia Eólica Brasileiro Para o Biênio de 2021-2022 / João Victor Rezende Sampaio. -- 2021.  
38 f. : il.

Orientador: Alexandre Zanini

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2021.

1. Energia Eólica. 2. Previsão. 3. Produção de energia. I. Zanini, Alexandre , orient. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, aos meus pais e minhas irmãs, por estarem sempre do meu lado me dando forças. A minha tia Antonieta e meu cunhado Marco pelas ótimas horas de conversas na estrada de Além Paraíba a Juiz de Fora.

Agradeço a todos os meus professores ao longo do curso, por toda força, incentivos e conhecimentos, principalmente a professora Laura Schiavon e o professor Alexandre Zanini, com quem tive o prazer de trabalhar ao longo desses cinco anos.

Agradeço aos meus colegas e amigos de faculdade, que sempre foram solícitos a me ajudar ao longo do curso, e com eles vivi ótimos momentos ao longo da graduação seja no ambiente acadêmico ou no lazer.

E por fim agradeço meus amigos, Alexandre, Bernardo, Fred, Isabella, Mylena, Nilton e Pedro, com quem criei fortes laços ao longo desses cinco anos, seja dividindo apartamento, seja nos almoços de final de semana no RU, eles foram minha família em Juiz de Fora, que sempre ficaram do meu lado, me incentivando e dando força.

"That is the plan: just try. If we can do it,  
wonderful. If not, then fail in the most  
beautiful way."

Jurgen Klopp.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEÓLICA- Associação Brasileira de Energia Eólica

ACL- Ambiente de Contratação Livre

ACR- Ambiente de Contratação Regulada

AR – Processo Autorregressivo

CBEE- Centro Brasileiro de Energia Eólica

CELPE- Companhia Energética de Pernambuco

EPE- Empresa de Pesquisa Energética

EUA- Estados Unidos da América

FPW - *forecast pro for Windows*

GMRAE - *Geometric Mean Relative Absolute Error*

IEA- *International Energy Agency*

MA- Processo de Médias Móveis

MAE- Método de Amortecimento Exponencial

MAD- *Mean Absolute Deviation*

MAPE- *Mean Absolute Percentual Error*

MBJ- Método de Box & Jenkins

ONS – Operados Nacional de Sistema Elétrico

PND- Plano Nacional do Desenvolvimento

PROEÓLICA- Programa Emergencial de Energia Eólica

PROINFA- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Procedimento de *out-of-sample rolling evaluation*

Figura 2: Geração de energia eólica em GWh no Brasil de 2009 a 2020

Figura 3: Correlograma do erro gerado pelo Modelo de Amortecimento Exponencial

Figura 4: Correlograma do erro gerado pelo Modelo de Box e Jenkins

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Geração da série temporal  $Z_t$

Gráfico 2: Previsão da produção de energia eólica em GWh

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Fatores Sazonais

Tabela 2: Estatísticas do modelo de amortecimento exponencial

Tabela 3: Comparação entre os métodos

Tabela 4: Previsão para a produção de energia eólica em GWh

Tabela 5: Variação percentual da geração de energia eólica entre os anos

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I- INTRODUÇÃO:</b> .....	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO II- REVISÃO DE LITERATURA:</b> .....	<b>15</b>
2.1 História das Fontes de Energia .....	15
2.2 Energia elétrica no Brasil .....	17
2.3 O setor eólico brasileiro .....	19
<b>CAPÍTULO III- METODOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
3.1 Série temporal.....	21
3.2 Método de amortecimento exponencial .....	22
3.3 Método Univariado de Box e Jenkins .....	23
3.4 Competição de métodos .....	25
<b>CAPÍTULO IV- ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS</b> .....	<b>27</b>
4.1 Base de dados .....	27
4.2 Modelo de amortecimento exponencial .....	28
4.3 Box e Jenkins.....	29
4.4 Competição de métodos .....	31
4.5 Previsão para a produção de energia eólica.....	32
<b>CAPÍTULO V- CONCLUSÃO</b> .....	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>

## RESUMO

Estudos mostram que a energia eólica será provavelmente a energia do futuro, por se tratar de uma fonte energética inesgotável e que tem pequeno impacto ao meio ambiente. Entretanto poucos estudos se preocupam com como será o mercado no curto prazo, voltando-se apenas para o longo prazo. Este trabalho buscar analisar os dois primeiros anos, 2021 e 2022, para assim entender como será o comportamento do mercado de energia eólica no início da década de 2020 e no pós-pandemia da COVID-19. Desse modo será selecionado um modelo de previsão por meio de competição de dois métodos autoprojativos quais sejam, o Método de Amortecimento Exponencial (MAE) e o Método de Box e Jenkins (MBJ). O trabalho trouxe como resultado números que indicam uma estabilização do setor ao longo dos dois próximos anos, com uma leve queda em 2022.

## **ABSTRACT**

Studies have revealed that wind energy will probably be the energy of the future, as it is an inexhaustible energy source and because of its small impact on the environment. However, few studies were concerned with how this market will be expressed in the short term, it only focus on the long term. This work aims to analyze the first two years, 2021 and 2022, in order to understand how the wind energy market will behave in the early 2020s and in the post-pandemic COVID-19. In this perspective, a prediction model will be selected, through the competition of two self-projective methods, which are: the Exponential Damping Method (MAE) and the Box and Jenkins Method (MBJ). The work results indicate a stabilization of the sector over the next two years, with a slight drop in 2022.

## **CAPÍTULO I- INTRODUÇÃO:**

O sucesso do domínio humano passa muito pelo controle e conhecimento sobre as fontes energéticas, que são aqueles materiais que geram energia, desde o fogo nos primórdios, passando pelo vento para a navegação, até o petróleo e eletricidade na idade moderna, foram primordiais na expansão e adaptação da humanidade no planeta. A eletricidade está no centro do salto de desenvolvimento que o mundo apresentou no último século, por conta de seu descobrimento foi possível melhorar as formas de se transportar e comunicar. A informação que antes demoraria meses para sair da China até a Europa, na atualidade leva segundos (FARIAS; SELLITO, 2011).

Entretanto todo esse desenvolvimento, e uso das mais variadas formas energéticas teve um impacto no aumento da poluição do planeta, com os combustíveis fósseis, como petróleo e gás natural, e no desmatamento, com a construção de usinas hidroelétricas que para o seu uso é necessário criar lagos artificiais gigantesco destruindo o ecossistema local. Todo esse processo passou a impactar negativamente na atmosfera terrestre, sendo um dos principais causadores do aquecimento global. Desse modo nos últimos trinta anos os países estão buscando formas mais limpas, com um impacto menor na natureza, de gerar energia, e, atualmente, os dois principais expoentes dessas buscas são a energia eólica e solar. Pois justamente elas são de uma fonte renovável como vento e o sol, e as construções dessas usinas são bem menos danosas do que as hidroelétricas (FARIAS; SELLITO, 2011).

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2020, da EPE, o Brasil está entre os dez maiores geradores de energia elétrica com 2,5% de geração da energia do mundo, sendo o terceiro em geração via hidroelétricas, gerando 10% de toda energia mundial nessa fonte. Nas energias alternativas, o Brasil segue entre os 10 principais, e com uma participação de 4,2%. Como esperado pelos dados mundiais, a matriz energética brasileira é dominada pelas hidroelétricas, com elas gerando 64% da energia elétrica nacional, enquanto que a eólica é responsável por 9% (EPE, 2020).

Vários estudos mostram que no longo prazo a energia eólica terá uma participação primordial na produção elétrica brasileira. Santos (2017) apresenta diversos cenários para o setor elétrico até 2050, e aquele mais preferível é justamente o que a base é a eólica. E, segundo Dranka

(2018), é possível a existência de um cenário em que a produção elétrica brasileira seja 100% sustentável, entretanto, é necessário um aumento da capacidade instalada para isso acontecer. Schmidt (2016) aponta até 2052 as fontes sustentáveis irão diminuir a necessidade do uso das termoelétricas, e com isso limpar a matriz energética brasileira.

No que tange os impactos da energia eólica, Carvalho (2016) exhibe que apesar de alguns impactos negativos sobre o ambiente, estes são bastante reduzidos em comparação aqueles das outras fontes energéticas, fazendo com que ela seja “limpa”. Segundo Koengkan (2017), a energia eólica pode trazer resultados positivos para a geração de emprego no Brasil, já que é necessário um aumento da capacidade instalada e, desse modo, a criação de novos parques.

A década de 2020 se revela como o ponto de virada para a energia eólica brasileira segundo Neto e Iarozinski (2008). Vários estudos procuram entender o mercado eólico no Brasil, mas eles estão voltados para uma visão de longo prazo ou para uma avaliação dos impactos, sendo que poucos procuram entender o que irá acontecer ao longo da década de 2020 ou como será o crescimento dessa fonte na matriz energética brasileira durante esses anos, e ainda menos levando em consideração os impactos da pandemia do novo coronavírus no setor eólico brasileiro.

Este trabalho tem como objetivo fazer uma análise de curto prazo do setor eólico brasileiro, e desse modo entender como será o mercado de energia eólica para o Brasil no início da década de 2020. Para isso serão estimados dois modelos de previsão, um pelo Método de Amortecimento Exponencial (MAE) e outro pelo Método de Box e Jenkins (MBJ). Desta forma, para decidir qual o melhor método, será feita uma competição entre os modelos, verificando a capacidade de previsão dentro e fora da amostra. A partir do modelo vencedor, serão geradas previsões para a geração de energia eólica para os próximos 25 meses, de dezembro de 2020 até dezembro de 2022.

Feitas estas considerações, salienta-se que este trabalho está organizado em cinco partes. Além desta Introdução, no Capítulo II apresenta-se uma revisão da literatura. Já no Capítulo III é apresentada a base de dados que será trabalhada, bem como a metodologia aplicada. No Capítulo IV é feita a análise de dados e os resultados são apresentados. No Capítulo V pode-se ver as conclusões.

## **CAPÍTULO II- REVISÃO DE LITERATURA:**

### **2.1 História das Fontes de Energia**

Conforme discutido no capítulo I, uma das principais justificativas para o sucesso da humanidade no planeta Terra está relacionada ao domínio que o homem conseguiu ter sobre as formas de energia. Um exemplo primordial nesse caso é o do fogo, que com o seu usufruto além da iluminação noturna, os seres humanos dominaram também uma forma de cozinhar e conseguir aquecimento. Com o passar dos anos a humanidade foi expandindo o uso da energia, chegando a utilizar energia hidráulica, eólica ou de tração de animais para movimentar moinhos para assim diminuir o esforço dos homens (FARIAS; SELLITO, 2011).

Com o maior entendimento das formas de energia, houve grande evolução no seu uso, e com isso a humanidade começou a utilizar a energia eólica como forma de se locomover. Através das velas dos barcos era possível navegar independentemente dos remos, o que foi essencial para o primeiro movimento de “globalização” do mundo, com o comércio pelo Mar Mediterrâneo e com as índias, o que com o tempo levou a conquistas dos outros continentes desconhecidos pelos povos europeus, como América e Oceania (FARIAS; SELLITO, 2011).

A próxima fonte a ganhar importância foi a térmica, no início, pelo vapor, que foi importante para solucionar os problemas de alagamentos nas minas de carvão e ferro na Inglaterra, esforço este, que, antes do uso do vapor, era necessário o uso de 500 cavalos. Em 1668 Thomas Severy construiu a primeira máquina a vapor aproveitável, modelo que foi melhorado por Thomas Newcomene ficou em operação por 75 anos, e foi o primeiro passo para a revolução industrial que ocorreu em 1760. Com a revolução industrial os combustíveis fósseis começam a ganhar o mundo, principalmente o carvão mineral, que foi bastante utilizado em trens e navios, que ficou como a principal fonte primária até 1961, quando perdeu espaço para o petróleo (FARIAS; SELLITO, 2011).

O ponto de início do uso do petróleo é o ano de 1859, quando o mesmo foi descoberto nos EUA. O petróleo foi importante na explosão do mercado automotivo no início do século XX que levou a um intensificado uso da gasolina. Com o início da indústria petroquímica em 1930, o petróleo passou a ser mais importante ainda no cotidiano da humanidade e é base para vários produtos essenciais e não apenas como combustível. Entretanto com as crises do

petróleo de 1970, e com os danos que os combustíveis fósseis trazem para o equilíbrio ambiental, o mundo tem procurado formas alternativas para substituir o petróleo e seus derivados principalmente como combustível (FARIAS; SELLITO, 2011).

O conhecimento sobre a existência da eletricidade é antigo, desde a Grécia, quando foi descoberta pelo filósofo Tales de Mileto, entretanto, o seu estudo só foi intensificado nos séculos XVIII e XIX, o que levou a uma grande revolução na área com a descoberta da lâmpada incandescente e da possibilidade de transmissão de energia elétrica. Com a necessidade de produção para a iluminação e consumo nas cidades, foram descobertos modos de gerar em grande quantidade (FARIAS; SELLITO, 2011).

A primeira fonte foi o carvão mineral por meio de usinas térmicas, que funcionam utilizando a queima de combustíveis fósseis para gerar calor e transformar a água em vapor para assim movimentar uma turbina que utiliza a energia mecânica para produzir energia elétrica. Logo depois surgiram as usinas hidroelétricas, que apresentam uso similar aquelas das termoelétricas, porém em vez de utilizar o vapor, ela faz o uso da força gravitacional da água quando ela está em queda, para a movimentação das turbinas, sendo o resto do processo parecido com o das usinas termoelétricas (FARIAS; SELLITO, 2011).

Com o aumento de demanda e de investimentos na produção e distribuição de energia elétrica, logo ela se transformou na principal fonte de energia primária do mundo. Esta fonte de energia esteve diretamente ligada ao desenvolvimento dos países. Entretanto, com o seu uso em larga escala, e como suas duas principais fontes de produção apresentam grande impacto no meio ambiente, foi necessário buscar outras fontes para produzir energia elétrica. Desse modo cresceu o investimento na energia solar e eólica, que têm menor impacto ambiental (WALTER, 2010 apud Farias, 2017, p. 10).

Apesar de bastante importante durante as grandes navegações, a energia eólica ficou pouco utilizada pelos séculos subsequentes, sendo que somente em 1888 esta fonte de energia começou a ser usada como fonte elétrica, quando Charles F. Brush ligou um moinho de vento a um gerador elétrico. Houve importantes investimentos no setor até a Segunda Grande Guerra, entretanto os investimentos foram diminuídos com a intensificação do uso dos combustíveis fósseis e das usinas hidroelétricas, que eram bem mais competitivas economicamente que a energia eólica (DUTRA, 2008).

Entretanto, durante a década de 1960, vários países da Europa investiram e criaram aerogeradores. A Dinamarca nos anos de 1980, por exemplo, aplicou o grande desenvolvimento da aplicação desses geradores na produção de energia eólica e, desse modo, houve um grande crescimento na capacidade instalada durante a década de 1990, que foi se explanando pelo mundo. Com a busca por fontes mais limpas de energia, a fonte eólica tem ganhando cada vez mais investimentos e com isso aumentando a sua participação na matriz energética mundial (DUTRA, 2008).

Pelo relatório anual apresentado pela IEA em 2018, em 2016 a principal fonte de energia elétrica no mundo foi o carvão mineral, sendo responsável por 38,4% da geração, seguido por gás natural e hidroelétricas, sendo 23,2% e 16,3% respectivamente. Na comparação com 1973, as fontes que apresentaram melhor crescimento foram a nuclear e as fontes renováveis, sendo que a nuclear saiu de 3,3% para 10,4%, enquanto as renováveis cresceram 7,4% no período, saindo de 0,6% para os atuais 8%. A grande queda foi para o petróleo que tinha uma participação de 24,8% nos anos 1970 e agora representa uma fração de 3,7%. Vale ressaltar que estes são dados para a produção de energia elétrica; no que tange à participação das fontes em todos os tipos de energia, o petróleo ainda é líder, representando 31,9% (IEA,2018).

## **2.2 Energia elétrica no Brasil**

O marco para a chegada da energia elétrica em território brasileiro é de 1879, já a produção por meio de usinas só foi ter início em 1883 com a construção da usina de Diamantina. Entretanto demorou até a energia elétrica se dispersar pelo país. Somente na década de 1920 o investimento foi intensificado para distribuir energia nos centros urbanos e industriais (LORENZO, 2002).

Até os anos 30 os investimentos eram principalmente estrangeiros, porém com a revolução de 30 o Estado passou a controlar mais a economia, o que levou à criação do Código das Águas e do Conselho Nacional de Águas e de Energia Elétrica. Como pode ser percebido, a principal fonte de produção de energia elétrica no Brasil era a hidroelétrica, o que se mantém até hoje. Durante as décadas de 40 e 50, o Brasil estava em grande expansão industrial e urbana, sendo determinístico para uma evolução do setor durante esse período (LORENZO, 2002).

Durante a década de 1970, o Estado buscou evitar a diminuição do investimento. Com a implantação do II PND, que tinha como objetivo manter a produção de petróleo, aço e energia elétrica, mesmo com a crise internacional do petróleo em 1973, levou à construção da maior usina hidroelétrica do mundo na época, Itaipu (LORENZO, 2002).

Na década seguinte o Brasil entrou em crise econômica interna, com aumento da inflação e da dívida pública, tendo assim uma diminuição da capacidade do Estado de distribuir os recursos para o investimento. O setor elétrico durante a década de 1980, passou por um processo de endividamento, para poder continuar as obras de expansão do setor. Outro ponto importante durante essa década foi a diminuição da intervenção estatal no setor e aumento da discordância entre as concessionárias estaduais e a Eletrobras, o que levou a um aumento da inadimplência das empresas estaduais, pois, elas passaram a não pagar pela energia comprada e até mesmo não recolhendo os tributos da população (LORENZO, 2002).

Dessa forma o setor energético entrou na década de 1990 em situação delicada, com as empresas endividadas e o governo federal sem condições para fazer qualquer intervenção no setor. O que se viu durante essa década foi um movimento de diminuição da participação estatal, que resultou em uma reforma institucional que dava maior participação para a iniciativa privada no setor elétrico (LORENZO, 2002)

Um dos pontos controversos dessas reformas está relacionado com a falta de estratégias de longo prazo, pois não se analisaram questões ambientais que, no futuro se tornaram tão importantes para mudanças nos investimentos. O aproveitamento das usinas hidroelétricas também não foi discutido, o que ajudou na culminância do racionamento em 2001 e, por fim, a excessiva ênfase na construção de usinas termoelétricas e de gás, mesmo com um momento não propício para esse investimento por conta da fragilidade financeira do país (LORENZO, 2002).

Após a crise energética de 2001, o governo brasileiro procurou fazer uma reformar no setor em 2004, que tinha como base aprimorar o modelo que já regia o país, procurando uma segurança no abastecimento e uma modicidade tarifária, isso se deu pela criação da ACR (Ambiente de Contratação Regulada) e ACL (Ambiente de Contratação Livre). O objetivo era promover uma coordenação mais efetiva do mercado elétrico (PINTO JR et al., 2016)

### 2.3 O setor eólico brasileiro

O primeiro movimento de implementação de energia eólica no Brasil é de 1992, com a instalação de um gerador no arquipélago de Fernando de Noronha, que foi uma parceria entre o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), entretanto a tecnologia utilizada no setor era extremamente cara, e desse modo pouco evoluiu durante os dez anos seguintes. Com a crise energética de 2001, o governo criou o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), que tinha o objetivo de promover projetos referentes à energia eólica, para assim diversificar a matriz energética brasileira. Entretanto, atenta-se que este programa não obteve os resultados esperados (ABEEÓLICA, 2018a).

Com a falta de sucesso do programa anterior, o governo federal criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que tinha como objetivo incentivar o crescimento das energias renováveis no Brasil. A partir de 2009 a energia eólica passou a participar dos leilões de comercialização de energia, o que fez com que aumentasse o investimento no setor. Esse aumento de investimentos foi proporcionado por dois pontos principais, a evolução no setor que levou ao barateamento da energia e à necessidade de procurar fontes mais limpas. Um ponto favorável para a implementação de energia eólica no Brasil é a capacidade produtiva do país, principalmente no litoral nordestino (ABEEÓLICA, 2018a; MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

Com o aumento de investimentos, o que se viu foi um crescimento da capacidade instalada e da participação na matriz energética brasileira. Em 2009, no Brasil, a energia eólica representava 0,35% da matriz energética nacional, com somente 320 MW de capacidade instalada. Já em 2012 com as participações nos leilões, a participação foi para 1,56% e a capacidade para 1804 MW. O crescimento é maior ainda se for analisado para 2018, onde o Brasil passa a ter uma capacidade de produção de 14,71 GW, sendo responsável por 9% da produção de energia elétrica no Brasil (ABEEÓLICA, 2018b).

A energia eólica é considerada uma das mais limpas existentes, tendo impacto pequeno no meio ambiente. Seus principais impactos são visuais, sonoros e em relação à morte de pássaros, bem diferente das inundações de ecossistemas da hidroelétrica e da emissão de gases poluentes da térmica. Por se tratar de um setor em expansão, apresenta grande

capacidade de geração de emprego. Segundo estudos, é esperada a criação de 195 mil novos empregos no setor até 2020 (KOENGGAN; 2017; SIMAS; PACCA, 2013; TRAPP; RODRIGUES, 2016).

Um fato que vale ser ressaltado é que, como apresentado, a produção de energia brasileira está muito relacionada com as usinas hidroelétricas e, desse modo, apresenta sazonalidade de produção, pois, durante a seca, os reservatórios estão vazios, diminuindo a quantidade produzida. A energia eólica também apresenta sazonalidade, porém o pico de produção das usinas eólicas é justamente no período da seca, o que leva a energia eólica a se apresentar como uma ótima complementar da hidroelétrica, além de ser mais limpa do que a térmica (NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2012; SCHMIDT; 2016).

A energia eólica se apresenta como a energia para o futuro no Brasil. Segundo Santos (2017), dados cinco futuros cenários para a matriz energética brasileira até 2050, o melhor cenário, foi justamente aquele no qual a energia eólica era a principal fonte de energia elétrica no Brasil. A década de 2020 é vista como decisiva para o desenvolvimento da energia eólica, e é durante esta década que é esperado que o setor se apresente como um dos pilares para a produção de energia elétrica no país. Até 2026 é esperado que energia eólica mais a energia solar cheguem a ocupar 26% da matriz elétrica brasileira (GONCALVES *et al*; 2018; NETO; IAROZINKI, 2008).

Segundo a Presidente da ABEEÓLICA, Elbia Gannoum, a recuperação pós pandemia terá relação direta com o desenvolvimento das fontes renováveis e limpa. No que tange aos impactos da pandemia no setor eólico brasileiro, os efeitos ainda não são conhecidos, porém não é esperado um grande prejuízo, a principal preocupação do setor está na desvalorização cambial que impacta nos preços dos componentes deixando o investimento na área mais caro (SAMPAIO; BATISTA, 2021).

## CAPÍTULO III- METODOLOGIA

### 3.1 Série temporal

O trabalho fará uso de uma série histórica da produção de energia eólica no Brasil, ou seja uma série temporal, que é uma conjunto de observações em sequência que apresentam intervalos equidistantes. Aqui cabe ressaltar dois pontos principais, o primeiro é que no caso de séries de tempo a ordem é extremamente importante e o segundo é a existência de dependência da observação com as suas vizinhas. Se o passado for representativo do presente e do futuro, pode-se utilizar a série de tempo para assim construir um modelo matemático para prever o que irá acontecer com essa variável no futuro. Uma série temporal é apresentada como  $T = \{ t_1, t_2, t_3, \dots, t_i \}$  em que  $i$  é o período da informação (EHLERS, 2009).

O processo estocástico é definido como um conjunto de variáveis aleatórias que estão distribuídas no tempo e definido o conjunto de pontos  $T$ . Pode-se dizer assim que processos estocásticos descrevem uma estrutura de probabilidade de uma sequência de observações mesmo, ou seja, eles evoluem no tempo seguindo as leis da probabilidade. O principal uso de um processo estocástico é para estudar a evolução dessas variáveis no tempo e com isso fazer uma previsão para as observações futuras. Matematicamente é denotado por  $Z_{(t)}$  onde  $T = \{t : -\infty < t < \infty\}$  e  $\{Z_{(t)} : t \in T\}$ , quando o processo for contínuo, quando for discreto será,  $Z_t$  quando  $T = \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm n\}$  sendo  $\{Z_t : t \in T\}$  (ZANINI; 2000).

A previsão de uma série de tempo nada mais é do que buscar estimar os valores futuro para a variável de interesse, levando em consideração as informações acerca do passado e do presente. Esses valores futuros são encontrados pela estimação de modelo preditivo, que podem ser auto projetivos ou causal. Neste trabalho só utilizará modelos autoprotetivos, que são aqueles que fazem o uso apenas do histórico da variável de interesse, e para estimar a equação de previsão, faz uma análise da correlação dos dados no tempo e calcula os fatores de nível, tendência e sazonalidade (ZANINI, 2012).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma previsão sobre o comportamento do mercado de energia eólica para o Brasil durante o biênio de 2021-2022, e para isso serão utilizados dois métodos de previsão univariados, sendo eles o de Amortecimento Exponencial e o de Box &

Jenkins. Posteriormente será escolhido o melhor entre os modelos, por meio de uma competição de métodos, fazendo-se uma análise recursiva fora da amostra.

### 3.2 Método de amortecimento exponencial

Pelas notas de Ehlers (2009) e de Zanini (2012) o método de amortecimento exponencial leva em consideração as flutuações ao longo do intervalo de tempo, ou seja, desse modo a série pode apresentar várias formas. A mais simples é aquela em que não apresenta variações significativas ao longo do tempo, de modo a equação de previsão pode ser representada na equação 3.1. Como o nível será mais ou menos constante, a estimativa de  $a(T)$  fornece a previsão. Vale ressaltar que essa previsão pode ser feita pelo modelo ingênuo (*naive*) que utiliza como previsor o último dado da série ou também através de uma média móvel da série.

$$Z_t = a(T) + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

Onde:  $Z_t$  = venda no período  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, T$ );

$a(T)$  = parâmetro representativo do nível médio no instante  $T$ ;

$\varepsilon_t$  = erro de previsão e  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ .

O ponto chave do MAE é a ponderação dos dados ao longo da série, algo que o modelo de média móvel e o ingênuo não apresentavam, neles a ponderação era igual para todos os dados. Ponderando de maneira diferente os dados passados, o método assume reestimar os parâmetros a cada nova informação que é introduzida, desse modo, a equação terá uma constante de amortecimento que distribui o peso, entre o último dado, o peso  $\alpha$ , e para o passado  $(1 - \alpha)$ , na equação 3.2  $Z_t$  representa o último dado e  $\hat{a}_{(t-1)}$  a informação passada.

$$\hat{a}(T) = \alpha Z_t + (1-\alpha)\hat{a}_{(T-1)} \quad (3.2)$$

O modelo Holt- 2 parâmetros é aquele que a série apresenta tendência, representada pelo parâmetro ( $\beta$ ) que é uma nova constante de amortecimento, entretanto sem sazonalidade. O modelo está representado na equação 3.3, em que o  $\hat{a}_1$  representa o parâmetro de nível,  $\hat{a}_2$  a tendência, e  $\tau$  o horizonte de previsão.

$$\hat{Z}_T(\tau) = \hat{a}_1(T) + \tau \hat{a}_2(T) \quad (3.3)$$

E por fim tem-se o modelo que leva em consideração tanto a tendência quanto a sazonalidade, que também é conhecido por Holt-Winters. Vale ressaltar que o fator sazonal representa o

impacto do período que o dado está na série, ou seja, se for uma série mensal, o fator sazonal mede o quanto aquele mês impacta nos componentes de nível e tendência. O parâmetro de sazonalidade é representado por  $(\gamma)$ , que é a constante de amortecimento. A equação (3.4) é a representação do modelo de Holt-Winters, sendo “ $\hat{a}_1$ ” o parâmetro de nível, “ $\hat{a}_2$ ” o de tendência e “ $\rho$ ” representa o de sazonalidade, e “ $\tau$ ” é o horizonte de previsão.

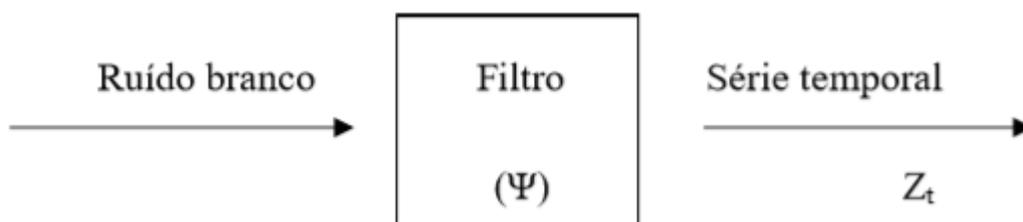
$$\hat{Z}_{T(\tau)} = (\hat{a}_1(T) + \tau \hat{a}_2(T))\rho_{(T+\tau)} \quad (3.4)$$

### 3.3 Método Univariado de Box e Jenkins

O segundo método que será utilizado é o de Box e Jenkins, popularmente conhecido como modelo ARIMA, tem sua base na análise probabilística ou estocástica das propriedades da própria série temporal utilizada. Esse modelo permite que a série seja descrita com base nos valores defasados da própria variável de interesse, por conta dos vetores autorregressivos, e com base na média móvel dos termos de erro do processo estocástico (GUJARATI, 2006).

O modelo se baseia na teoria geral dos sistemas lineares, onde a passagem do ruído branco por um filtro linear de memória infinita, gera um processo estacionário de segunda ordem, desse modo tanto a média da variância de  $Z_t$  e suas autocovariâncias, não se modificam com o tempo, mas sim com a distância que separa as observações (ZANINI, 2012).

**Figura 1: Geração da série temporal  $Z_t$**



Fonte: ZANINI, 2012

Sendo  $B$  um operador de atraso e o filtro linear  $\Psi$ , logo  $\Psi(B)$  apresenta infinitos parâmetros, sendo um problema, desse modo Box e Jenkins utilizaram da teoria geral dos polinômios que segundo ela um polinômio infinito pode ser representado pela divisão de dois polinômios finitos (ZANINI, 2012).

Então:  $\Psi(B) = \theta(B) / \phi(B)$

onde:  $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$  sendo a representação do Polinômio MA (q)

$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$  sendo a representação do Polinômio AR (p)

O modelo MA representa a combinação linear dos ruídos brancos, ou erros, sendo representado pela equação (3.5), onde  $a_t$  é o ruído branco do modelo e  $\theta_i$  os parâmetros de estrutura com  $i = 1, 2, 3, \dots, q$ . Sendo q o lag de corte. Por fim obtém  $Z_t = \theta(B)a_t$  (ZANINI, 2012).

$$Z_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (3.5)$$

Já o modelo AR tem como principal característica explicar o  $Z_t$  pelas informações passadas, ou seja  $Z_{t-1}$  até  $Z_{t-p}$ , sendo p a quantidade de passos entre a informação passada e a previsão da próxima informação. Na equação 3.6 tem a estrutura geral do modelo AR, sendo  $\phi_i$  são parâmetros da estrutura,  $i = 1, 2, \dots, p$  e  $a_t$  é o ruído branco com média zero e variância  $\sigma_a^2$ . Com o operador de defasagem chega a  $\phi(B)Z_t = a_t$  (ZANINI, 2012).

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \quad (3.6)$$

Com a apresentação dos modelos AR e MA, chega-se à representação do modelo ARMA (p,q) que é  $\phi(B)Z_t = \theta(B)a_t$ . Entretanto para a estimação é necessário que a série seja estacionária, e desse modo, se for não é preciso fazer diferenciação “d” vezes, e quando a série é submetida a essa diferenciação, o modelo deixa de ser um ARMA (p,q) e passa a ser chamado de ARIMA (p,d,q), representado na equação 3.7. Sendo  $\phi(B)$  o operador autorregressivo de ordem p,  $\theta(B)$  o operador de médias móveis de ordem q,  $a_t$  ruído branco, d número de diferenciações necessárias para deixar a série estacionária e  $\nabla = 1 - B$  é o operador diferença (ZANINI, 2012).

$$\Phi(B)\nabla^d Z_t = \theta(B)a_t \quad (3.7)$$

Se modelo apresentar sazonalidade, o modelo passa a ser conhecido como SARIMA (p,d,q)(P,D,Q) em que as letras maiúsculas representa relação com o componente sazonal, o modelo SARIMA está apresentado na equação (3.8) (ZANINI, 2012).

$$\Phi(B^S)\phi(B)\nabla^D\nabla^d Z_t = \Theta(B^S)\theta(B)a_t \quad (3.8)$$

Onde:

$\Phi(B^S)$  representa o componente sazonal autorregressivo de ordem P;

$\Theta(B^S)$  representa o componente sazonal médias moveis de ordem Q;  
 $\nabla D = (1-B)D$  é a diferença sazonal.

Para conseguir prever com o esse modelo é necessário fazer uma análise da série, para assim descobrir se existe a necessidade de diferenciação. Quando a série se apresenta não estacionária quanto ao seu nível e sua inclinação, é preciso descobrir a ordem dos polinômios AR e MA analisando as funções de autocorrelação (ACF) e a de autocorrelação parcial (PACF) estimadas. Posteriormente faz-se a estimação dos parâmetros. Com isso podem ser calculadas as previsões na forma do intervalo de confiança (ZANINI, 2012).

### 3.4 Competição de métodos

A escolha do melhor modelo estimado será feita a partir de uma competição de métodos, conhecida como *in-sample out-of-sample*. Esse método de comparação consiste em retirar uma parte das informações, no caso de uma série mensal os últimos dozes meses, para assim medir o poder de explicação dos modelos, dentro e fora da amostra. Essa comparação é feita por algumas estatísticas como o MAPE, que é o erro médio absoluto percentual, e o MAD, que é o erro médio absoluto, desse modo ambas estão medindo o quanto os modelos estão errando na média (ZANINI, 2012).

Será feito também a medição do poder de previsão dos modelos por outro procedimento de análise, o *out-of-sample rolling evaluation*, que reside na movimentação da origem de previsão no período *out-of-sample*, ou seja, no caso de dados mensais são retirados os últimos onze meses, e a previsão para onze passos à frente, em seguida move-se a origem e a previsão passa a ser para dez passos à frente, assim sucessivamente. Por fim gera-se um total de 66 previsões *out-of-sample*. O critério para a escolha do melhor método, pode ser feito, por exemplo, pela análise do MAPE acumulado, sendo que aquele que apresenta o menor MAPE acumulado é o melhor. A representação do *out-of-sample rolling evaluation* está na figura 2 (ZANINI,2012)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Nesta figura, foram retirados 12 dados, o que implica na geração de 78 previsões fora da amostra.

**Figura 2: Procedimento de *out-of-sample rolling evaluation***

		HORIZONTE											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ORIGEM	dez	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	Jan	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
	Fev	A	A	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
	mar	A	A	A	F	F	F	F	F	F	F	F	F
	abr	A	A	A	A	F	F	F	F	F	F	F	F
	mai	A	A	A	A	A	F	F	F	F	F	F	F
	Jun	A	A	A	A	A	A	F	F	F	F	F	F
	Jul	A	A	A	A	A	A	A	F	F	F	F	F
	ago	A	A	A	A	A	A	A	A	F	F	F	F
	set	A	A	A	A	A	A	A	A	A	F	F	F
	out	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	F	F
	nov	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	F

Fonte: ZANINI (2012)

Nota: F = Forecast, A= Actual.

Tendo sido feitas as comparações entre os dois métodos, por esses procedimentos apresentados anteriormente, é escolhido o modelo com o melhor poder de previsão. As informações retiradas serão reintegradas, e desse modo gerada as previsões para os períodos posteriores ao da amostra utilizada, que no caso deste trabalho é até dezembro de 2022. Desta forma, será gerada a previsão de produção do setor de energia eólica para o Brasil durante o biênio de 2021-2022.

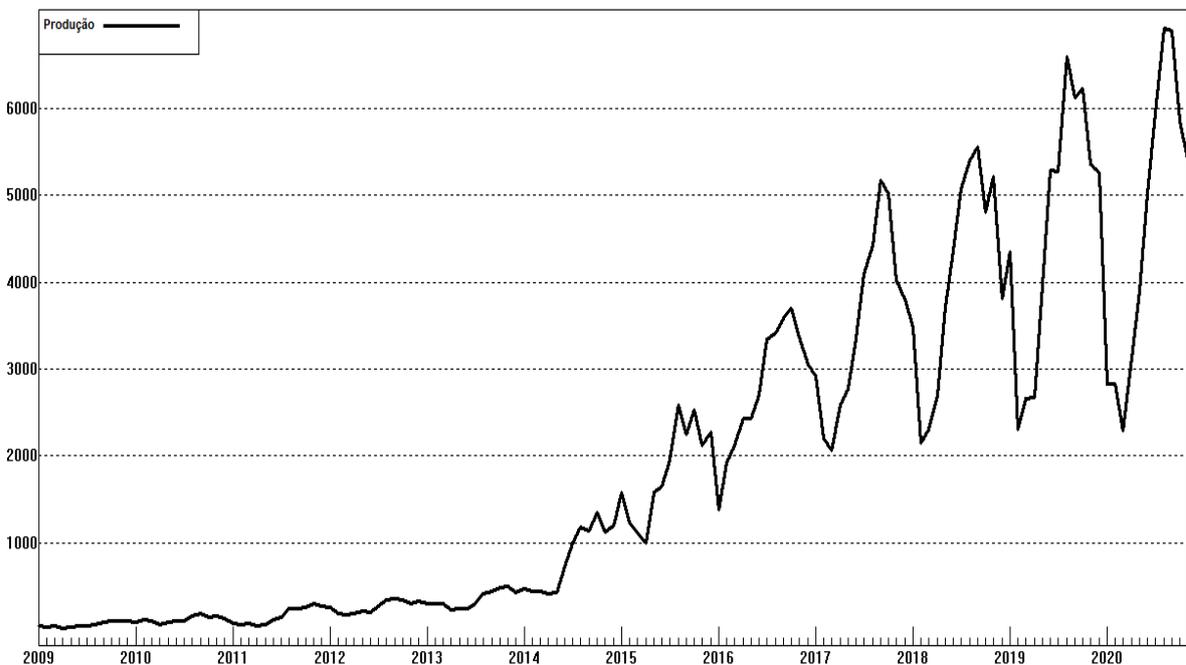
## CAPÍTULO IV- ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

### 4.1 Base de dados

A base de dados utilizada neste trabalho é a de produção de energia eólica no Brasil por GWh, com periodicidade mensal de janeiro de 2009 até novembro de 2020, totalizando 143 observações. Vale ressaltar que um dos pressupostos do trabalho é de que toda energia eólica produzida é consumida, desse modo justifica-se o fato de utilizar uma variável de produção para análise do mercado eólico. Os dados são disponibilizados pelo Histórico de Operação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Para as análises foi utilizado o *software Forecast pro for Windows (FPW)*.

No gráfico 1 está apresentada a série histórica dos dados. Vê-se que até 2014 a série apresentava uma tendência de crescimento, porém com uma pequena inclinação. Já a partir desse ano, o crescimento sofre uma mudança e passa a se apresentar mais exponencialmente. Também pelo gráfico da série é perceptível uma sazonalidade da produção, com picos no segundo semestre e vales no primeiro

**Gráfico 1: Geração de energia eólica em GWh no Brasil de 2009 a 2020**



Fonte: Elaboração própria a partir do *software FPW*

## 4.2 Modelo de amortecimento exponencial

O primeiro modelo gerado foi o de Amortecimento Exponencial, por ser uma série com tendência e sazonalidade, foi estimado o modelo de Holt-Winters. A equação de previsão está representada na equação 4.1, sendo 4.722,3 o parâmetro de nível, -4,6671 o de tendência, e  $\rho_{(T+\tau)}$  os fatores sazonais aditivos.

$$\hat{Z}_T(\tau) = 4722,3 - 4,6671 * \tau + \rho_{(T+\tau)} \quad (4.1)$$

**Tabela 1: Fatores Sazonais**

Mês	$\rho_{(T+\tau)}$
Janeiro	-1.559,00
Fevereiro	-1.892,50
Março	-2.337,30
Abril	-1.604,00
Maio	- 782,50
Junho	366,69
Julho	1.176,10
Agosto	2.191,00
Setembro	2.101,10
Outubro	1.193,40
Novembro	703,09
Dezembro	483,79

Fonte: Elaboração própria

Com base na tabela 1, que apresenta os fatores sazonais estimados pelo modelo, os meses com maior incremento na geração de energia eólica no Brasil são entre julho e outubro, com o maior ponto no mês de agosto com a adição de 2.191 GWh. Enquanto isso os meses de janeiro a abril são aqueles com a menor produção, sendo março o mês com a menor, com uma diminuição de 2.337,3 GWh. A análise destes fatores indica o impacto sazonal da geração no país, sendo o segundo semestre o período de alta na geração, enquanto o primeiro é o de baixa.

Na tabela 2 estão representadas as estatísticas do modelo. Para estimar o parâmetro de nível, deu-se um peso de 2,6% para o presente e de 97,4% para o passado, com isso o passado tem um impacto maior na estimação do parâmetro de nível do que o último dado. Já para o para os parâmetros de tendência e sazonalidade, o modelo deu um peso maior para o presente do que para o passado, com 85% e 86% respectivamente para cada parâmetro. O poder de

explicação do modelo é de 96,20% e em média ele erra 25,96%. Vale destacar que o teste de Ljung-Box teve sua hipótese nula (erros são descorrelatados) rejeitada. Entretanto, pode-se perceber pelo o correlograma do erro, figura 3, as correlações que extrapolam são baixas, com isso podendo-se desconsiderar o resultado do teste.

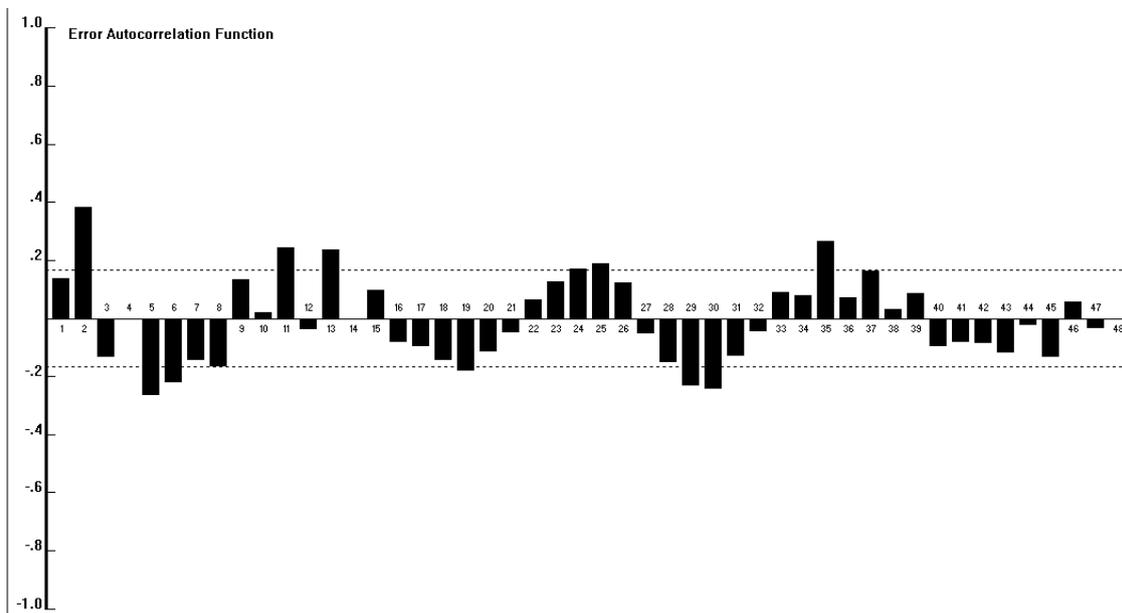
**Tabela 2: Estatísticas do modelo de amortecimento exponencial**

Constante de amortecimento de nível (%)	2,60%
Constante de amortecimento de tendência (%)	85%
Constante de amortecimento de Sazonalidade (%)	86%
Teste de Ljung-Box	1**
MAPE (%)	25,96%
R <sup>2</sup> ajustado (%)	96,20%

Fonte: Elaboração própria.

Nota: \*\* rejeitado à 99% do nível de confiança

**Figura 3: Correlograma do erro gerado pelo Modelo de Amortecimento Exponencial**



Fonte: Elaboração própria a partir do *software* FPW

### 4.3 Box e Jenkins

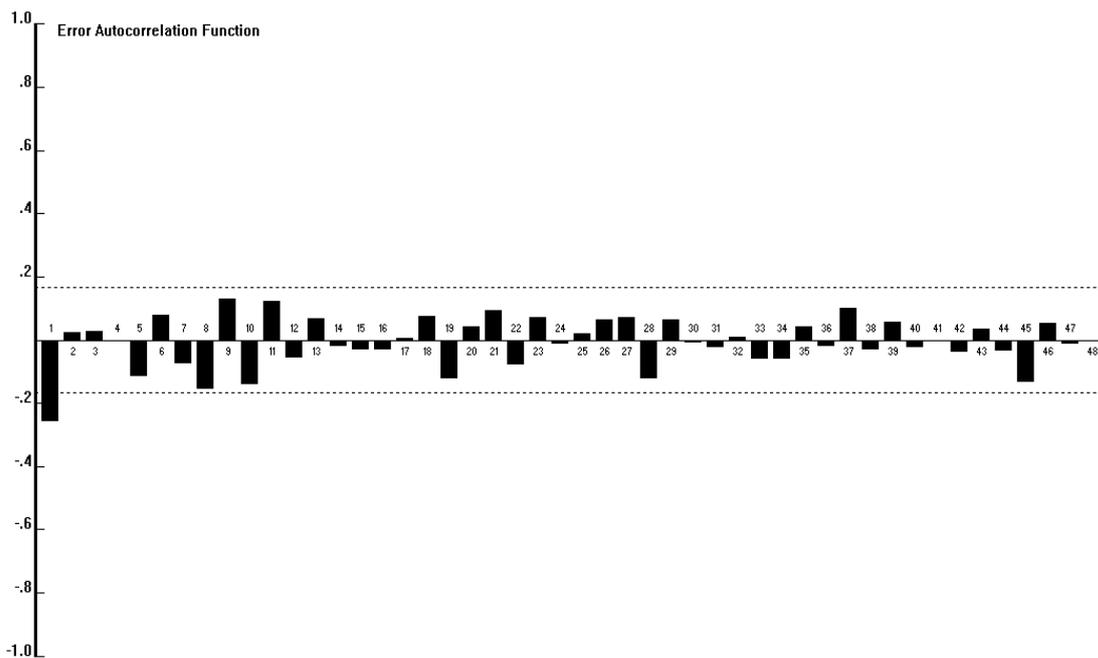
O modelo estimado pelo método de Box e Jenkins foi um SARIMA(0,1,0)(1,0,1), ou seja com sazonalidade. A escolha da estrutura do modelo foi feita por um critério automático de minimização do BIC (*Bayes Information Criterio*) já implementado no *software* FPW. Por

se tratar de uma série não estacionária, tanto na média quanto na variância, foi necessário fazer a primeira diferença e também uma transformação logarítmica. A equação estimada 4.2<sup>2</sup> apresenta o coeficiente AR sazonal de 0,9819, e o MA sazonal de 0,7942.

$$\begin{matrix} (1 - 0,9819B^{12})(1 - B)\ln Z_t = (1 - 0,7942B^{12})a_t \\ (0,02) \qquad \qquad \qquad (0,06) \end{matrix} \quad (4.2)$$

O modelo tem um poder de explicação de 98,58% e o erro médio de 15,13%. O teste Ljung-Box teve sua hipótese nula rejeitada ao nível de significância de 95%. Porém, com o correlograma do erro, figura 4, é perceptível que os lags ficaram dentro do intervalo do teste, apenas com um lag extrapolando.

**Figura 4: Correlograma do erro gerado pelo Modelo de Box e Jenkins**



fonte: Elaboração própria a partir do *software* FPW.

<sup>2</sup> Atenta-se que, entre parênteses, abaixo do valor do coeficiente, estão os erros-padrões.

#### 4.4 Competição de métodos

Para decidir qual dos dois métodos utilizar no trabalho, foi realizada uma metodologia de competição entre os métodos que compara o poder dos modelos dentro e fora da amostra. Para fazer a análise recursiva fora da amostra, foram retirados os onze últimos dados, e reestimou os modelos, gerando-se previsões para o ano de 2020. Na tabela 3 são apresentadas as estatísticas utilizadas para fazer a competição entre os métodos.

**Tabela 3: Comparação entre os métodos**

<i>In-sample</i> (dentro da amostra)			<i>Out-of-Sample</i> (fora da amostra)			
	R <sup>2</sup> adj (%)	MAPE (%)	MAPE(%) H = 1 N = 11	MAPE Acumulado	GMRAE H = 1 N = 11	GMRAE Acumulado
Box e Jenkins (BJ)	98,58%	15,13%	17,10%	18,90%	0,46	0,45
Amortecimento exponencial (MAE)	96,20%	25,96%	15,20%	9,80%	0,58	0,204

Fonte: Elaboração própria.

Observação: GMRAE é uma comparação do erro do modelo com o erro do modelo ingênuo.

Na comparação dentro da amostra, o Método de Box e Jenkins tem um poder de explicação maior e um erro médio menor em 10 pontos percentuais, desse modo o MBJ faz um ajuste dos dados melhor dentro da amostra. Porém, quando é feita a análise fora da amostra, o MAE apresenta tanto erro médio quanto o acumulado menor do que o MBJ, e no acumulado o MBJ erra 10 pontos percentuais na média a mais que o MAE. E em comparação com o modelo ingênuo, no qual a previsão é o dado anterior, o MAE apresenta uma razão menor no acumulado, sendo quase metade da razão do MBJ.

Apesar do MBJ ter um resultado melhor dentro da amostra, pode-se definir o MAE como o modelo vencedor, pois apresenta um desempenho melhor fora da amostra. Isto é, o MAE se mostrou melhor para prever o passado mais recente. Como serão geradas previsões para os próximos 25 meses, até o fim de 2022, o MAE será escolhido por errar menos com os dados mais recentes, (errou 10 pontos percentuais a menos na média do que o MBJ).

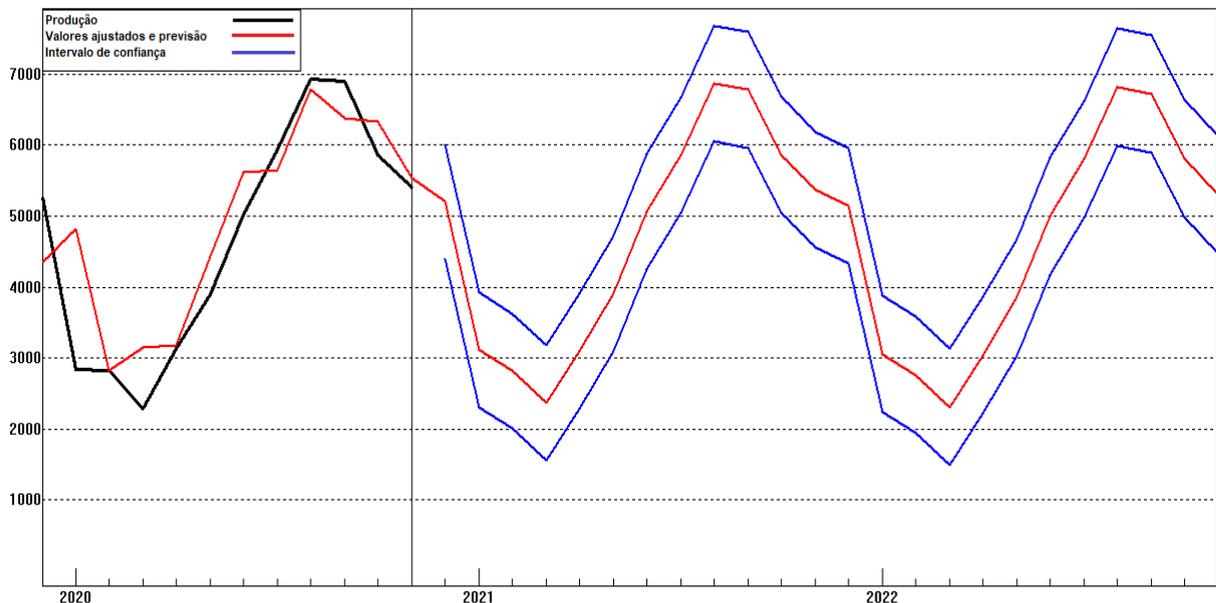
#### 4.5 Previsão para a produção de energia eólica

Sendo o MAE o vencedor da competição dos métodos, por conta de uma melhor resposta ao prever os dados fora da amostra, o trabalho segue restituindo os últimos onze meses ao período amostral. Desse modo, com origem em novembro de 2020, serão geradas previsões para os próximos 25 meses, de dezembro de 2020 até dezembro de 2022. A equação de previsão para o próximo passo à frente, dezembro de 2020, ficou:

$$\hat{Z}_T(1) = 4722,3 - 4,6671 * 1 + 483,79 \quad (4.3)$$

No gráfico 2, é apresentado a previsão até o fim de 2022, em vermelho está o valor previsto, enquanto que, em azul, o intervalo de confiança. Por dar um peso maior ao presente em relação a tendência e a sazonalidade, a variação na área de previsão foi sutil, sendo quase espelhada os anos de 2020, 2021 e 2022. Desse modo mantendo o movimento de estabilização que foi visto durante o ano de 2020, em que os valores ficaram próximos de 2019, tendo crescido apenas 0,26%.

**Gráfico 2: Previsão da produção de energia eólica em GWh**



Fonte: Elaboração própria a partir do *software* FPW.

A tabela 4 traz os valores previstos e o intervalo de confiança para 95%. Desse modo vê-se que a geração de energia eólica em dezembro de 2020 tem 95% de chance de ficar entre 4396 GWh e 6007 GWh. Esta é uma característica importante no uso de modelos estatístico, ou seja, a previsão não é apenas um número, mas um intervalo de confiança com dada

probabilidade de ocorrência. Poder-se-ia, portanto, imaginar ainda a formação de três cenários. Um “pessimista” representado pelo limite inferior do intervalo de confiança, um “otimista”, representado pelo limite superior, e por fim o cenário “esperado”, representado pelo valor calculado pela equação de previsão.

**Tabela 4: Previsão para a produção de energia eólica em GWh**

Mês	Limite inferior	Previsão	Limite Superior
Dez/20	4.396	5.201	6.007
Jan/21	2.308	3.114	3.920
Fev/21	2.009	2.816	3.623
Mar/21	1.558	2.366	3.175
Abr/21	2.286	3.095	3.904
Mai/21	3.102	3.912	4.722
Jun/21	4.245	5.056	5.868
Jul/21	5.049	5.861	6.673
Ago/21	6.058	6.871	7.685
Set/21	5.963	6.777	7.591
Out/21	5.049	5.864	6.680
Nov/21	4.553	5.369	6.186
Dez/21	4.328	5.145	5.963
Jan/22	2.240	3.058	3.876
Fev/22	1.941	2.760	3.579
Mar/22	1.490	2.310	3.130
Abr/22	2.218	3.039	3.860
Mai/22	3.034	3.856	4.678
Jun/22	4.177	5.000	5.823
Jul/22	4.981	5.805	6.629
Ago/22	5.990	6.815	7.640
Set/22	5.895	6.721	7.547
Out/22	4.982	5.808	6.635
Nov/22	4.486	5.313	6.141
Dez/22	4.261	5.089	5.918

Fonte: Elaboração própria

Por fim, na tabela 5, pode-se visualizar a produção anualizada, tendo-se uma ideia sobre a variação percentual desta produção no período de 2009 a 2022. Pode-se ver a grande variabilidade na geração de energia eólica neste período, com o crescimento passando dos 100% nos anos de 2014 e 2015, e após disso o setor passou a apresentar queda nas taxas de variação. Já a partir do método de previsão selecionado, projeta-se certa estabilidade no crescimento do período, com taxas de 0,26% para 2020 e 0,04%, e por fim uma leve queda

de 1,96% em 2022.

**Tabela 5: Variação percentual da geração de energia eólica entre os anos**

Ano	Geração em GWh	Variação
2009	710	-
2010	1.447	103,75%
2011	1.904	31,58%
2012	3.174	66,65%
2013	4.188	31,97%
2014	9.898	136,31%
2015	21.904	121,29%
2016	33.454	52,73%
2017	42.412	26,77%
2018	48.562	14,50%
2019	56.077	15,47%
2020	56.224	0,26%
2021	56.248	0,04%
2022	55.576	-1,19%

Fonte: Elaboração própria

## CAPÍTULO V- CONCLUSÃO

O trabalho apresentou durante a revisão de literatura a evolução do setor energético e eólico mundial, e como o domínio das fontes energéticas foi ponto primordial para o desenvolvimento da humanidade, principalmente no século XX no qual o planeta viu um progresso tecnológico maior do que o dos dois mil anos anteriores. Viu-se que esse salto tem relação direta com o aprofundamento nos conhecimentos sobre eletricidade. Porém o uso das fontes energéticas passou a impactar o planeta de forma negativa, com a poluição, aquecimento global, destruição de ecossistemas e até mesmo na geopolítica mundial, como a crise do petróleo da década de 1970 e guerras por territórios ricos no combustível fóssil. Com isso iniciou uma pressão por energia limpa e renovável, que tenha impactos mínimos no planeta e não interfira no desenvolvimento humano no mundo, sendo as mais preferidas a energia eólica e solar.

O Brasil passou a intensificar os investimentos no setor eólico no final da década de 2000, e entre os anos de 2014/2015 apresentou um grande crescimento na geração de energia eólica. O setor eólico nacional tem grande potencial, pois além de ser alvo para desenvolvimento local, principalmente no nordeste brasileiro onde está o maior potencial de geração. Esta fonte de energia se apresenta como uma forma de diversificar a matriz energética brasileira de maneira limpa, que hoje é baseada na energia gerada pelas hidroelétricas. Este trabalho monográfico gerou informações importantes a partir da análise da sazonalidade de ambos os setores. Viu-se que os meses de maior potencial eólico ocorre nos meses de seca, quando o potencial de geração das hidroelétricas é menor. Desse modo, com o desenvolvimento do setor eólico, o país passa a ter uma incerteza menor durante o período de seca, já que o setor eólico poderá substituir o hidráulico no período, e mantendo a geração elétrica num patamar mais estável durante todo o ano.

O trabalho tinha como objetivo prever o comportamento do setor eólico no início da década de 2020 e no pós pandemia, e para isso foram estimados dois modelos, um através do Método de Amortecimento Exponencial e outro através do Método de Box e Jenkins. Promoveu-se uma competição entres estes dois métodos, e o MAE se mostrou mais eficientes para prever a realidade mais recente, ou seja, mostrou melhor desempenho preditivo numa análise recursiva fora da amostra.

Através das previsões geradas pelo método vencedor, durante o ano de 2020 a geração de energia eólica apresentou um padrão de estabilização, tendo uma variação de 0,26% com o ano anterior, enquanto em 2019 o crescimento na geração tinha sido de 15,47%. Essa estabilização pode ser um dos efeitos da pandemia, que inibiu o crescimento ao longo do ano por conta da incerteza que o momento traz, além da desvalorização cambial que pode ter desestimulado os investimentos. Como ao se estimar os parâmetros do modelo, deu-se um peso de 85% para o presente em relação ao passado, o movimento de 2020 seguiu nas projeções. Já em 2021 a geração se manteve no mesmo patamar, variando apenas 0,4%, enquanto em 2022 indica-se uma pequena queda de 1,19%. Em 2021 a projeção do modelo foi de uma geração média de 4.687 GWh, e para 2022 de 4.631 GWh. Desse modo, para voltar ao patamar de geração de energia dos anos anteriores, será necessário entender qual foi o real impacto da pandemia no setor.

Por fim, ressalta-se que este trabalho monográfico pode ajudar a entender o comportamento do setor de energia eólica no pós-pandemia, e desse modo diminuir as incertezas nesse momento de crise. Pensando na elaboração de trabalhos futuros, sugere-se a monitoração do desempenho preditivo do modelo, bem como a utilização de outros métodos que permitam uma comparação. O mais importante é que, num ambiente sujeito a incertezas, estão sendo geradas informações que permitem entender o comportamento de setor energético no Brasil e, em particular, esta importante fonte alternativa de geração de energia, a energia eólica.

## REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA. *Quem somos Abeeolica, 2018a.*

ABEEÓLICA. Boletim Anual, 2018b.

CARVALHO, I. M. L.; RUZENE, D. S.; SILVA, D. P. Análise dos impactos da energia eólica. **Simpósio De Engenharia De Produção De Sergipe**, 8., 2016, São Cristóvão. Anais eletrônicos... São Cristóvão: DEPRO/UFS, 2016. p. 490-498.

DRANKA, Géremi Gilson.; FERREIRA, Paula. Planning for a renewable future in the Brazilian power system. **Energy**, 164 (2018), pp. 496-511

DUTRA, R. M. **Energia Eólica - Princípios e Tecnologias**. 2008. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/downloads/energia-eolica-principios-tecnologias-.pdf>>.

EHLERS, Ricardo S. Análise de séries temporais. **2009** , 2009.85-212-0348-9.

EMPRESA DE PESQUISA E ENERGIA, EPE; Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2020.

FARIAS, Leonel Marques; SELITO, Miguel Afonso. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato** v. 12, n. 7, p. 01-106 , 2011.

FARIAS, Lucas. **Modelo de previsão da produção do setor de energia eólica nacional (2017 – 2018)**. Universidade Federal de Juiz de Fora. 30p. Monografia apresentada ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora - MG, 2017

GONCALVES, André Rodrigues; SANTOS, Rodrigo; PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos. Cenários De Expansão Da Geração Solar E Eólica Na Matriz Elétrica Brasileira. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar** v. VII , 2018.

GUJARATI, Damodar N. **Econometria Básica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

IEA. Key Word Energy Statistic, 2018. Disponível em:<<https://webstore.iea.org/key-world->

[energy-statistics-2018](#)>

KOENGGAN, M.; FUINHAS, J. A.; CARDOSO, A. O Impacto Da Produção De Energia Eólica No Mercado De Trabalho: Uma Abordagem PVAR. **Journal of social studies** v. 19, n. 38 , 2017.

LORENZO, Helena Carvalho De. O setor elétrico Brasileiro: Passado e Futuro. **Perspectivas** v. 24/25, n. 20, p. 147–170 , 2002.8577531007; 9788577531004.

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.a.; PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física** v. 30, n. 1, p. 1304.1-1304.13 , 2008.

NASCIMENTO, Thiago Cavalcante; MENDONÇA, Andréa Torres Barros Batinga De; CUNHA, Sieglinde Kindl Da. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. **Cadernos EBAPE.BR** v. 10, n. 3, p. 630–651 , set. 2012.

NETO, Fabricio Luiz Bronzati; IAROZINKI, Alfredo. Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030. **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção** v. XXVIII , 2008.

PINTO JR, Helder Queiroz; ALMEIDA, Edmar F; BOMTEMPO, José Victor; IOOTY, Mariana; BICALHO, Ronaldo G. **Economia da Energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

SAMPAIO, Kelia; BATISTA, Valmir. O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: Uma revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, e57710112107, 2021.

SANTOS, M.J. *et al.* Scenarios for the future Brazilian power sector based on a multi-criteria assessment. **Journal of Cleaner Production** v. 167, p. 938–950 , nov. 2017.

SCHMIDT, Johannes; CANCELLA, Rafael; JUNIOR, Amaro Olímpio Pereira. The effect of windpower on long-term variability of combined hydro-wind resources: The case of Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 55, n. 00, p. 131–141 , mar. 2016.

SIMAS, Moana; PACCA, Sergio. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos Avançados** v. 27, n. 77, p. 99–116 , 2013.

TRAPP, Guilherme Sperling; RODRIGUES, Luis Henrique. Avaliação do custo sistêmico total da geração de energia eólica em face da substituição das fontes hidrelétrica e termoelétrica considerando as externalidades socioeconômicas e ambientais. **Gestão & Produção** v. 23, n. 3, p. 556–569 , 7 jul. 2016.

WALTER, Osvaldo Luiz. História de eletricidade. Mogi Mirim, 2010.

ZANINI, Alexandre. Modelos de Previsão para Séries Temporais. Material Didático. Juiz de Fora, 2012.

ZANINI, Alexandre. SOUZA, R C; PEDREIRA, C E. Redes neurais e regressão dinâmica: um modelo híbrido para previsão de curto prazo da demanda de gasolina automotiva no Brasil. **XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional** p. 1928–1946, 2000.